

УДК 676.024.6

© Литвиненко О.А., д.т.н., доцент, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

© Штефан Є.В., д.т.н., професор, КПІ ім. І. Сікорського, Київ, Україна

© Пащенко Б.С., Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

КАВІТАЦІЙНЕ ДИСПЕРГУВАННЯ МАКУЛАТУРИ В ТЕХНОЛОГІЯХ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАПЕРУ

The results of processing waste paper in a flow-type hydrodynamic cavitation apparatus are presented. Was determined that the processing in the apparatus with consistent cavitation zones allows to get a homogeneous suspension with long fibers. This improves the quality of the final product and expands the technological opportunities of the apparatus in the production of paper for various purposes.

В сучасних виробничих умовах особливої актуальності набуває рециркуляція матеріалів. Це сприяє заощадженню природних ресурсів, захисту навколишнього середовища, скороченню енерговитрат тощо.

Повторне використання макулатури є важливою складовою вирішення екологічних, технологічних і економічних питань. Відомо, що при переробці однієї тони макулатури виробляється близько 0,7 т паперу та картону або 0,8 т целюлози, що дозволяє заощадити до 4,4 т деревини та значну кількість водних ресурсів.

Таким чином, макулатура є важливою і цінною сировиною для виробництва картонно-паперової продукції, зокрема – пакувальних матеріалів для харчової, переробної та інших галузей промисловості.

Споживні характеристики паперу з макулатурної маси визначаються її папероутворюючими властивостями. Вони залежать від виду волокна, умов приготування волокнистої маси і фізико-механічними процесами, які відбуваються у волокнистій суспензії на всіх етапах виробництва паперу, в першу чергу – умовами розмелювання. Саме в процесі подрібнення забезпечується приріст волокон за ступенем розмолу і залежить від марки макулатури, що входить до складу оброблюваної сировини [1].

При переробленні вторинних волокон макулатурної маси неминуче спостерігається погіршення їх технологічних властивостей, зокрема зменшення довжини волокон і руйнування їх капілярів. Це обумовлює зниження еластичності волокон, підвищення їх крихкості тощо, що негативно впливає на папероутворюючі властивості.

Під час розмелювання волокна зазнають гідравлічних ударів, подрібнення, фібрилювання, набухання, що сприяє збільшенню їх активної поверхні. За таких умов відбувається вивільнення полярних гідроксильних груп, які забезпечують водневий зв'язок між волокнами в процесі виготовлення паперового полотна і впливають на механічні показники паперу [1].

За своєю структурою розмелена макулатурна маса має неоднорідний полідисперсний фракційний склад. Грубі довгі волокна низького ступеня розмолу, вміст яких складає 65...70% забезпечують кращі міцності показники. Короткі волокна з довжиною понад 0,2 мм утворюються при високому ступені розмолу і характеризуються низькими папероутворюючими властивостями. Їх вміст може становити до 30% від загальної кількості обробленої маси. Волокна довжиною менше 0,2 мм непридатні для виробництва паперу, однак велика кількість коротких фібрильованих волокон сприятлива для виробництва іншої паперової продукції, зокрема туалетного паперу, серветок, картону тощо.

Таким чином можна вважати, що нормативні показники кінцевої продукції визначаються середньою довжиною волокон, величиною питомої поверхні та міжволоконними силами зв'язку, що в сукупності забезпечує механічні властивості паперу.

До традиційного розмелювального обладнання, призначеного для диспергування макулатурної сировини на волокна та їх подрібнення залежно від умов реалізації технологічного процесу відносяться конічні та дискові ножеві млини. Однак інтенсивна ударно-механічна дія на оброблювану масу в машинах такого типу спричинює недостатні міцності характеристики кінцевого продукту. Підвищення ефективності та якісних показників можна досягти в машинах гідродинамічного впливу, в яких введення енергії здійснюється безпосередньо в технологічний потік волокнистої суспензії. За рахунок різкої зміни геометрії течії виникають зусилля зсуву, кавітаційні ефекти, пульсації тиску тощо. Встановлено, що такі машини забезпечують «м'яку» дію на волокна, що сприяє їх якісному розмолу без надлишкового розриву, задовільне диспергування пучків волокон. Їх раціонально застосовувати для «дорозпуску» волокнистих матеріалів після гідророзбивачів [2].

Аналіз літературних джерел, наведений в [3], підтверджує досвід авторів, що найбільш ефективним обладнанням для оброблення целюлозної суспензії є гідродинамічні кавітаційні апарати (ГКА). На відміну від досконало досліджених труб Вентурі [4,5], дослідно-промислові випробування авторів свідчать, що саме ГКА найбільш ефективні при обробленні суспензій, зокрема целюлози [5].

Для досліджень ефективності використання ГКА в процесах диспергування, змішування, гомогенізації тощо автори розробили кавітаційну установку (рис.1) у вигляді циркуляційного контуру.



Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної кавітаційної установки

Установка містить робочу ємкість і допоміжну (накопичувальну) ємкість з рівнеміром, насос, ГКА, запірно-регулювальну арматуру у вигляді шиберних засувок і кранів, манометри та мановакууметри. Для автоматизованого збирання показників тиску використовували електронні датчики тиску, дані з яких виводились на персональний комп'ютер. Особливістю конструкції установки є наявність гнучкого трубопроводу, що дозволяє реалізувати програму досліджень для моделювання зон кавітаційного оброблення і послідовного встановлення робочих ділянок ГКА (рис. 2).

Її конструктивна особливість дозволяє використовувати оброблення технологічних середовищ за різних умов – при однократному та циркуляційному. Для вибору раціональних режимів обробки вивчався вплив інтенсивності кавітаційної дії на суспензію деревинної целюлози.

Дослідження диспергування 2% суспензії целюлози за різних умов оброблення показали, що визначальним фактором впливу є стадія кавітації λ , яка характеризує

співвідношення довжини кавітаційної каверни (порожнини) L та характерного розміру тіла обтікання (кавітатора) d , розташованого в ГКА, що спричинює різку зміну характеру течії потоку: $\lambda = L/d$. Особливістю роботи ГКА статичного типу є утворення за кавітатором по ходу потоку приєднаної кавітаційної каверни, що в подальшому розпадається в зоні стабілізованого тиску. Кавітаційні мікробульбашки високого енергетичного потенціалу, що утворюються при розпаді каверни, забезпечують ударно-механічну дію на середовище. З використанням прозорої робочої камери встановлено, що зі зменшенням λ від 2,8, що характеризує найбільшу ефективність роботи ГКА до 1,0 якість подрібнення суспензійного компоненту збільшується, причому більш інтенсивно з підвищенням швидкості потоку, яка характеризується критерієм Рейнольдса. За допомогою мікроскопу порівняння МС-51 з об'єкт-мікрометром встановлено, що приріст питомої поверхні суспензії досягається вже при 5 – разовій обробці в ГКА, а подальше оброблення суттєво не впливає на її дисперсні характеристики. Таким чином обробку суспензій доцільно проводити в режимах початкової (бульбашкової) форми кавітації, ерозійна активність якої найбільша [6].

На рис. 2 наведено фотографії робочих ділянок ГКА, які використовувались для проведення досліджень.



Рис. 2. Робочі ділянки ГКА

Водночас, надмірна ударно-хвильова дія на суспензію целюлози може спричинити розрив волокон, що знижує папероутворюючі властивості кінцевої продукції. Очевидно, що кавітаційний вплив на макулатурну масу бажано здійснювати в апараті, який конструкційно має декілька зон оброблення. Це дозволить забезпечити належну якість оброблення при зменшенні питомих енерговитрат. Авторами запропоновано конструкцію ГКА, наведену на рис 3.

Він містить проточну камеру, де на повздовжньо розміщеному стрижні встановлені кавітатори на відстані один від одного. Максимальний розмір у поперечному перетині першого за потоком кавітатора становить не менше $0,9d$, де d – внутрішній діаметр проточної камери. Розмір кожного наступного кавітатора зменшується на $0,1d$, а їх кількість становить не менше трьох, відстань між ними – не менше $(7...10)d$ [7].

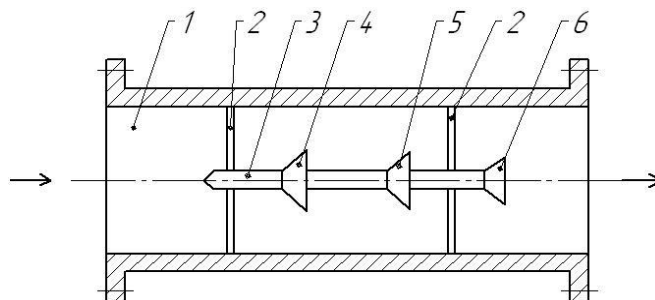


Рис. 3. Гідродинамічний кавітаційний реактор

Відстань між кавітаторами 4, 5, 6 встановлюється не менше $7...10$ внутрішнього діаметра проточної камери 1. Для фіксації стрижня 3 в проточній камері 1 передбачено упори 2.

Макулатуру різних марок (поліграфічну продукцію – журнальну, газетну, картон) завантажували в робочу ємкість кавітаційної установки, заливали водою в співвідношенні «вода-макулатура» 4 до 1 і піддавали перемішуванню протягом години за допомогою мішалки, яка імітувала промисловий гідророзбивач. З робочої ємкості оброблювана сировина насосом подавалась на оброблення в ГКА і накопичувалась в допоміжній

Мікрофотографія, наведена на рис. 4, ілюструє структуру суспензії, обробленої в запропонованому ГКА за однократний прохід через апарат. Добре видно, що переважає волокниста структура обробленої макулатури з переважно довгими волокнами, а наявні забруднення можливо є залишками типографської фарби.

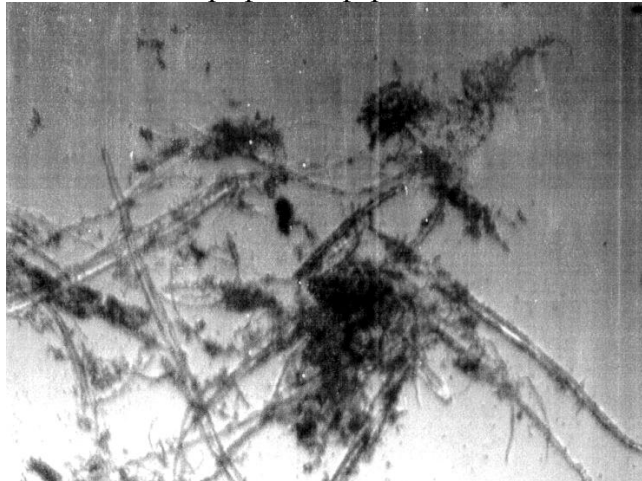


Рис. 4. Зразок обробленої суспензії

На підставі проведених досліджень є підстави стверджувати, що гідродинамічне кавітаційне оброблення в багатоступеневих апаратах дозволяє отримати довговолокнисту структуру обробленої паперової маси, зменшити технологічні витрати на виробництво кінцевої продукції

Перелік посилань:

1. Макаренко, А.А. Влияние процесса размла макулатуры на физико-химические показатели бумаги / А.А. Макаренко, В.Г. Плосконос, О.М. Белозерова, М.М. Евсеев // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. – №4. – С. 35-39.
2. Марченко, Р.А. Сравнительная оценка показателей размла при ножевом и безножевом способе / Р.А. Марченко, Н.С. Решетова, Ю.Д. Алашкевич // Химия растительного сырья. – 2012. – №1. – С. 191 – 198.
3. Макаренко, А.А. Дослідження ефективності застосування різних конструкцій проточних кавітаційних змішувачів / А.А. Макаренко // Теплофізика та теплоенергетика. – 2019. – Т.41. - №1. – С. 74-79.
4. Пилипенко В.В. Кавитационные автоколебания / В.В. Пилипенко. – К.: Наукова думка, 1989. – 316 с.
5. Долінський, А.А. особливості впливу конструкції кавітаційних змішувачів на властивості отриманих дисперсних систем / А.А. Долінський, Л.Ю. Авдєєва, Л.Ю. Жукотський, А.А. Макаренко // Наук. праці НУХТ. – 2017. – Т.23. – №4. – С.105-111.
6. Кавітаційні пристрої в харчовій, переробній та фармацевтичній промисловості / О.А. Литвиненко, О.І. Некоз, П.М. Немирович. З. Кондрат – К.: УДУХТ, 1999. – 87 с.
7. Патент 99234, МПК В01J 19/24 України (2006) Гідродинамічний кавітаційний реактор / Литвиненко О.А., Некоз О.І., Дзюб О.Г.; заявник Нац. Ун-т харчових технологій. – № u201413277 ; заявл. 11.12.14 ; опубл. 25.05.15, Бюл. №10, 2015р.